

Nanostrukturált mátrixú kompozitok, az anyagfejlesztés új irányzata

Turcsán Tamás^{1*}, Mészáros László^{1,2}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

²MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Napjainkban nagy igény mutatkozik a biztonságosan üzemelő nagyteljesítményű szerkezeti anyagok iránt. Ezen tulajdonságok elérésének egyik módja lehet szálas erősítésű kompozitok befoglaló anyagának nanoméretű módosítása, amely pozitív hatással lehet a polimer kompozitok mechanikai tulajdonságaira.

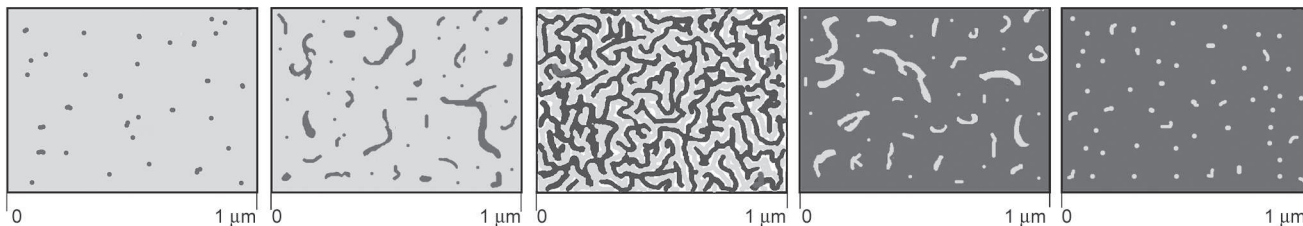
BEVEZETÉS

A nanotechnológia kínálta lehetőségek napjainkban már kézzel fogható eredményekként vannak jelen. Az egyes vívmányok visszaköszönnek használati tárgyainkban, alkalmazásainkban, így segítve mindennapjainkat. Más tudományterületekhez hasonlóan, az anyagtudományban is számottevő fejlődést hozott az anyagok szerkezetének nanoméretű módosítása. A folyamat a polimertechnikában az elmúlt évtized második felében felgyorsult, és napjainkban is az intenzíven kutatott témák közé tartozik [1–3].

A polimereket más anyagokkal, fémekkel, illetve kerámiákkal társítva nagy teljesítményű szerkezeti anyagok, kompozitok állíthatóak elő. Legismertebb formájuk a verseny- és technikai sportokban elterjedt, szénszálas erősítőanyaggal rendelkező, réteges elrendezésű kompozit rendszerek, amelyek azonban manapság a közúti- és a légiközlekedésben is jelentős szerepet töltenek be. Ezekben az anyagokban a mechanikai terheléseket a megfelelő irányba rendezett erősítőszálak veszik fel, míg az ezek közti térrészt a befoglaló-, vagy más néven mátrix anyag tölti ki. Ez utóbbi feladata, hogy összefogja a szálakat, védje azokat a különböző behatásokkal szemben, továbbá a terhelés elosztásában is kulcsfontosságú szerepet játszik. A szerkezet szempontjából kiemelkedően fontos az erősítő szálak szilárdságán túl, a mátrixanyag szívóssága és a két fázis közötti adhéziós kapcsolat, amely határt szab a kompozit terhelhetőségnek [2–4].

A polimer kompozitok esetén nanostrukturált szerkezet létrehozása többféle módszerrel is elérhető. Az egyik lehetőség az anyag nano-mérettartományba eső részecskéikkel történő társítása, amelyek nagy felületfogat arányuknak köszönhetően számos helyen tudnak kapcsolódni a kompozit alkotóelemeihez, ezáltal már kis mennyiségben adagolva is jelentős mértékben módosíthatják annak szerkezetét és tulajdonságait. Egy másik, napjainkban kisebb elánnal kutatott, de ígéretes módszer az egymással nem elegyedő polimer anyagok keverése révén előállított nanostruktúra létrehozása. Ez esetben a cél az elkevert anyagok elkülönülésének korlátozása, ezáltal olyan szerkezet létrehozása, amely akár nano-mérettartományba eső külön-külön folytonos struktúrájú (1. ábra) térszerkezetet is fölvehet [3–5].

Az említett szerkezet adta előnyöket már az előző évszázad elején felismerték [5], holott ekkor még nem sejtették, hogy minek is tudható be a tulajdonságváltozás. A XX. század második felében több kutatás is folyt nanostrukturált szerkezetű anyagokkal kapcsolatban. Az igazi áttörést az 1980-as években kifejlesztett új vizsgálati módszereknek (pl. pásztázó alagút mikroszkópia) köszönhetően értek el. A kutatókat napjainkban is foglalkoztatják az igen kis mérettartományba eső fázisstruktúrával rendelkező polimer keverékek nyújtotta előnyök. Ezek az adott anyagkeverék energiaelnyelő képességében, szívósságában, azaz a hirtelen tönkremenetel kockázatának mérséklésében, fokozott nedvességelnyelő képességében, rugalmasság-



1. ábra. A polimer keverékek fázisstruktúrájának elvi ábrája az egyik komponens növekvő aránya mellett, középen a nanoméretű, külön-külön folytonos struktúra [5] alapján

*turcsan@pt.bme.hu

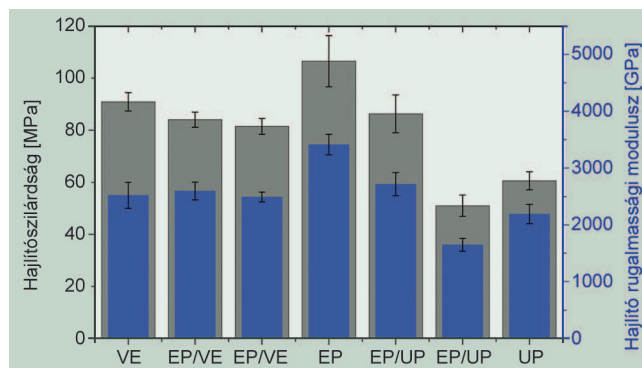
gában, illetve azt mátrix anyagként használva (hibrid mátrix), az erősítő anyaggal való jobb kapcsolódásban is megnyilvánulhatnak [5–7].

A kompozit szerkezetek szívósságának biztosítása, a hirtelen tönkremenetel bekövetkezési esélyének minimalizálása igen fontos, főként ahol ezen emberi élet is múlhat. Mindezt figyelembe véve, a repülőgépiparban és a közlekedés más ágazataiban, ahol manapság közkedveltek a polimer kompozit alkatrészek, igencsak jó felvevőpiacra találhat egy növelt szívóssággal rendelkező szerkezeti anyag. Ezekből kiindulva kutatásunk célja hibrid mátrixszú, növelt szívóssággal és energiaelnyelő képességgel rendelkező nagy teljesítményű szerkezeti anyagként használható, szálal erősítésű kompozitok fejlesztése és azok tulajdonságainak feltérképezése.

KÍSÉRLETI RÉSZ

A létrehozott kompozitok erősítőanyagként unidirekcionális szénszövetet (*Panex 35 FB UD 300*, ZOLTEK ZRT.), befoglaló anyagként pedig epoxi (*ER-1010*, IPOX CHEMICALS KFT.), vinilészter (*AME 6000-T35*, ASHLAND ITALIA S.p.A.), valamint telítetlen poliészter (*Distitron 5119 ESX20ZQ*, POLYNT S.p.A.) hőre nem lágyuló gyantákat, illetve azok 1:1 tömegarányú keverékét használtuk föl. Az epoxi (EP) gyantához aminós térhálósítót (*EH-2293*, IPOX CHEMICALS KFT.), míg a vinilészter (VE) és a telítetlen poliészter (UP) gyantához peroxidos katalizátort (*MEKP-LA-3*, PEROXID CHEMIE GMBH) alkalmaztunk. A keverék gyantákat a két különböző módszer (A és B) segítségével állítottuk elő. Az A-jelű keverékeket úgynevezett szimultán [8–10], míg a B-jelű hibrideket szekvenciális előállítás eljárással [10, 11] hoztuk létre. Az előállítási módot részletesen a [10] irodalmi hivatkozás tartalmazza. A gyantamin-ták vizsgálatához szükséges próbatestek elkészítése síküveg-lapok közé szorított szilikon szerszámban történt. A hat réteg unidirekcionális szénszövetet (CF) tartalmazó kompozit anyagok előállítása kézi laminálással történt, amelyet préseléssel egészítettünk ki, sík acéllapok között 0,25 MPa nyomással, 24 óra időtartamig. A térháló szerkezetű mintákat, mind a gyanták, mind a kompozitok esetében (azok öntése és préselés után egy nappal) 80 °C-on 4 óra időtartamig utólagos hőkezelésnek vetettük alá a megfelelő térhálóság elérése céljából. A mechanikai vizsgálatokba minden esetben legalább 5–5 mintát vontunk be, az eredményekből átlagot vontunk.

Az általunk kitűzött cél VE, EP és UP gyantákból egy olyan keverék megalkotása volt, amelyben nanostrukturált fázis-szerkezet jön létre, aminek következményeként kedvező mechanikai tulajdonságokat mutat. Első lépésként az előállított keverékgyanta (EP/VE és EP/UP), illetve az referencia minták (EP, UP, VE) próbaestjein mechanikai vizsgálatokat végeztünk el. A hárompontos hajlító vizsgálatok (ISO 178) eredményei (2. ábra) azt mutatták, hogy a gyantakeverék hajlítószilárdsága hozzávetőlegesen a kisebb szilárdságú komponens (VE, vagy UP) által elért értékek közelében mozog. Ugyanez mondható el a hajlító rugalmassági modulusról is. Kivételt képez ez alól az EP/UP/A-jelű keverék, amelynek értékei jelentős mérték-

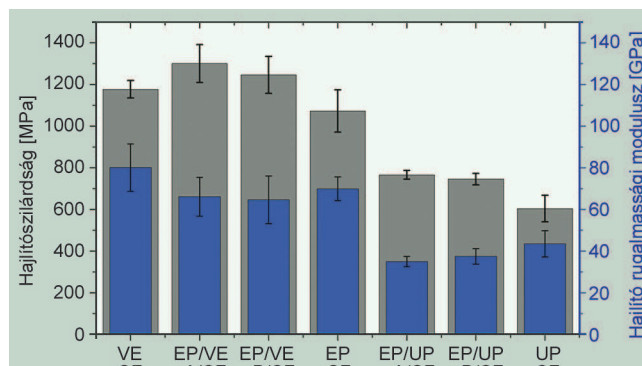


2. ábra. A vizsgált gyanták és gyantakeverékek hajlítószilárdsága és hajlító rugalmassági modulusa

ben eltolódtak a nagyobb szilárdsággal és moduluszal rendelkező EP komponens értékei felé. Az eredmények ismeretében kijelenthető, hogy az EP/VE és az EP/UP keverék mechanikai tulajdonságai alapján szálal erősítésű kompozitban való alkalmazásra kétség kívül alkalmasak.

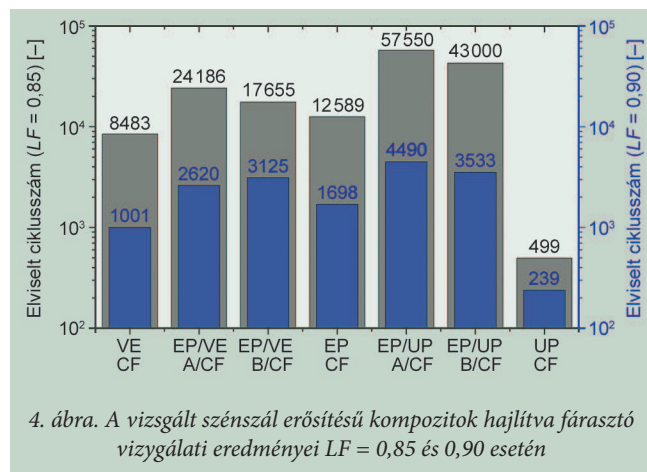
A CF-el erősített kompozit anyagokon végezett hárompontos hajlító vizsgálatok (ISO 14125) eredményei (3. ábra) azt mutatták, hogy a keverékgyanta mátrixú kompozitok EP/VE rendszer esetében hajlítószilárdság tekintetében meghaladták a referenciák közül nagyobb szilárdságú EP/CF kompozitok értékeit. Az EP/UP rendszer esetén a keverék mátrixú kompozitok szilárdság értékei a két referencia anyag értékei közé estek, míg rugalmassági modulus tekintetében mindkét rendszer esetén a keverékek kis mértékben alul múltak a referencia kompozitokat. Ez alapján következtetni lehet arra, hogy a keverékgyanta képes együttműködni a szénszálal erősítőanyaggal. A hibrid mátrixú kompozitok megfelelő szilárdsági értékeket produkáltak, ugyanakkor kismértékű csökkenés volt tapasztalható a rugalmassági modulusban, ami előre vetítheti az esetleges szívósabb viselkedést.

A kutatás következő szakaszában az előállított kompozitokon ciklikus, három pontos hajlító fárasztó vizsgálatokat végeztünk (ISO 13003), ezzel kívántuk igazolni, hogy a keverékgyantából létrehozott kompozit anyag növelt energiaelnyelő



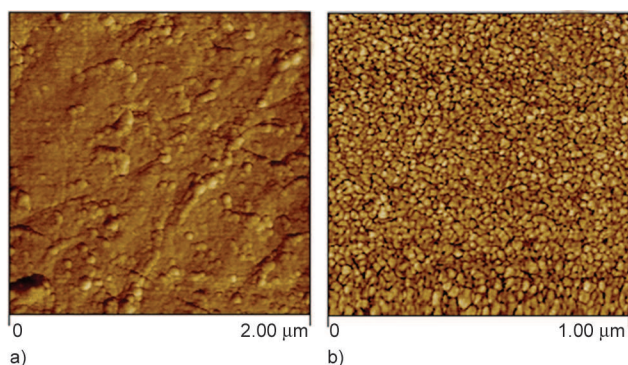
3. ábra. A vizsgált szénszál erősítésű kompozitok hajlítószilárdsága és hajlító rugalmassági modulusa

képességgel rendelkeznek, felhasználási körülményeket modellező, magas terhelési ismétlésszám esetén is. A tesztek során a két különböző terhelési szinten (LF), a statikus hajlító vizsgálatoknál tapasztalt maximális feszültségértékek 90, valamint 85%-ával végrehajtott (10 Hz frekvenciájú, lengő típusú) terheléseket alkalmaztunk. A fárasztó igénybevétel esetén mind az EP/VE, mind az EP/UP mátrixú kompozitok szívósabban viselkedtek (4. ábra), azaz nagyobb ismétlésszámot viseltek el tönkremenetel nélkül a referencia anyagokhoz mérten. Ez azt mutatja, hogy ipari felhasználás szempontjából a hibrid mátrixú kompozit anyagok felhasználásával tartósabb és biztonságosabb szerkezetek hozhatóak létre.



4. ábra. A vizsgált szén-szál erősítésű kompozitok hajlítva fárasztó vizsgálati eredményei $LF = 0,85$ és $0,90$ esetén

A tapasztalt viselkedés magyarázatát az anyag szerkezeti vizsgálat adhatja meg. Az elvégzett atomerő mikroszkópos (AFM, ISO 13095) felvételek (5. ábra) azt mutatták, hogy a kialakult, fázisstruktúra már az EP/VE gyantakeverékben is meglehetősen finom, nanométeres, úgynevezett globuláris szerkezetet vesz föl (5a. ábra). Az erősítőszálak jelenlétében ez a szerkezet jelentősen finomodik (5b. ábra), így a fázisok (az EP, a VE és a CF) rendkívül sok helyen tudtak kapcsolódni egymáshoz. Ezáltal a terhelésátadás jelentősen javult, ami szívósságnövekményben mutatkozott meg a hagyományos kompozitokhoz viszonyítva.



5. ábra. Az EP/VE/A keverékgyanta (a) és az abból képzett EP/VE/A/CF (b) kompozit mátrixának fázisstruktúráját mutató AFM felvételei

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során nanostrukturával rendelkező hibridgyanta mátrixú kompozitokat hoztunk létre, amelyek kiváló szilárdsággal és szívóssággal rendelkeznek. Az EP/VE mátrixú kompozitok elsősorban szilárdság terén, míg az EP/UP mátrixúak a ciklikus fárasztóvizsgálatok során emelkednek ki a vizsgált anyagok közül. A két különböző hibridgyanta-előállítás mód-szerrel (A és B) készült kompozitok között, a mechanikai vizsgálatok alapján, nem tapasztalható jelentős különbség. A eredmények arra utalnak, hogy az előállított hibridgyanta mátrixú kompozitok alkalmasak olyan ipari célokra, ahol nagy szilárdságú, ciklikus igénybevételnek kitett szerkezeti anyagokra van szükség.

A publikációt megalapozó kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásában zajlott. A kutatás eszközbeszerzése az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA PD105564) által biztosított forrásból valósult meg. A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Friedrich, K.; Fakirov, S.; Zhangm, Z.: Polimer composites from nano- to macro-scale, Springer-Verlag, New York, (2005).
- [2] Jordan, J.; Jacob, K. I.; Tannenbaum, R.; Sharaf, M. A.; Jasiuk, I.: Experimental trends in polymer nanocomposites – A review, Materials Science and Engineering A, 393 1–11 (2005).
- [3] Mészáros, L.: Polimer mátrixú nanokompozitok fejlesztése, doktori értekezés, BME (2010).
- [4] Czigány, T.: Bazaltszál-as hibridkompozitok, MTA doktori értekezés (2005).
- [5] Sperling, L. H.: Interpenetrating polymer networks: An overview, American Chemical Society, Washington DC (1994).
- [6] Aylsworth, J. W.: U.S. Patent 1,111,284 (1914).
- [7] Forsdyke, K. L.; Starr, T. F.: Thermoset resins – Market Report, Rapra, Shawbury (2002).
- [8] Karger-Kocsis, J.: Simultaneous interpenetrating network structured vinyl ester/epoxy hybrids and their use in composites. In: Harrats, C.; Thomas, S.; Groeninckx, G. (eds.) Micro- and nanostructured multiphase polymer blend systems: Phase morphology and interfaces, CRC Press, Boca Raton (2005).
- [9] Mészáros, L.; Turcsán, T.: Development and mechanical properties of carbon fibre reinforced EP/VE hybrid composite systems, Per. Pol. Mech. Eng, 58 (2), pp. 127–133, (2014).
- [10] Turcsán, T.; Mészáros, L.: Egymásba hatoló hálószerkezetű gyanta fejlesztése és vizsgálata, Műanyagipari Szemle, 12 (5), 74–84 (2013).
- [11] Sands, J. M.; Jensen, R. E.; Fink, B. K.; McKnight, S. H.: Synthesis and properties of elastomer-modified epoxy-methacrylate sequential interpenetrating networks, Journal of Applied Polymer Science, 81 (3), pp. 530–545 (2001).